

TIELU DIANLI QIANYIN
GONGDIAN XITONG DIANQI
SHEBEI TIAOSHI JISHU

铁路电力牵引供电系统 电气设备调试技术

中铁电气化局集团有限公司第一电气试验室◎编

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

铁路电力牵引供电系统 电气设备调试技术

中铁电气化局集团有限公司第一电气试验室 编

中国铁道出版社

2013年·北京

内 容 简 介

本书主要内容包括电气试验的一般要求、电气设备单体试验、系统试验、系统整套启动试验四部分,同时涵盖城市轨道交通供电系统交流部分的试验。

本书主要供铁路电力牵引供电系统和城市轨道交通供电系统的电气试验人员使用,并可作为培训教材。本书还可作为设计单位以及大专院校教学的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

铁路电力牵引供电系统电气设备调试技术/中铁电气化局集团有限公司第一电气试验室编. —北京:中国铁道出版社,2013.5

ISBN 978-7-113-16557-4

I. ①铁… II. ①中… III. ①电气化铁道—牵引供电系统—电气设备—调试方法
IV. ①U223.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 104996 号

书 名:铁路电力牵引供电系统电气设备调试技术

作 者:中铁电气化局集团有限公司第一电气试验室 编

策划编辑:杨建国

责任编辑:孙 楠 王风雨 编辑部电话:021-73139 电子信箱:tdpress@126.com

编辑助理:李慧君

封面设计:崔 欣

责任校对:胡明锋

责任印制:陆 宁

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址:<http://www.tdpress.com>

印 刷:三河市华丰印刷厂

版 次:2013年5月第1版 2013年5月第1次印刷

开 本:700 mm×1 000 mm 1/16 印张:14.5 字数:271 千

印 数:1~4000 册

书 号:ISBN 978-7-113-16557-4

定 价:45.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。

电话:(010)51873170(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)63549504,路电(021)73187

电气化铁路变电所的首要任务是安全可靠地供电。任何故障导致停电,都会影响工农业生产及铁路的正常运输秩序,给人民的出行带来不便,给国民经济造成损失。所以针对各种类型的变电所在建成后能否顺利投入运行,以及投入运行后能否保证各种电气设备运行稳定、性能良好,对这些问题进行一系列的试验是非常必要的。

电气试验的主要目的是验证电气设备的各种性能是否符合国家规定的交接标准及厂家的技术条件,找出各种可能影响设备正常运行的缺陷并予以克服,为接收单位提供可靠、准确的试验数据,以便接收单位在预防性试验以及日常运行中能够进行分析和比较,从而保证设备的正常运转。通过电气试验能够发现设备的某些缺陷,但单一的试验项目存在一定局限性,试验人员需根据试验结果,结合有关标准、出厂数据以及同类设备试验数据进行比较,经过综合判断来发现电气设备绝缘缺陷或薄弱环节。对于设备缺陷试验方应会同生产厂家、项目施工方共同制定处理方案加以修复,经修复试验符合标准规程的要求后才可以投入运行。

本书由中铁电气化局集团有限公司第一电气试验室编制。第一电气试验室成立于1958年,已有50余年的历史。经过几代工程技术人员的努力,现在已取得国家二级电力试验室的认证。

本书根据国家标准《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》(GB 50150)和行业标准《继电保护和电网安全自动装置检验规程》(DL/T 995—2006),针对铁路电力牵引供电系统电气设备特点,将电气设备调试工作划分为三个阶段进行,分别是电气设备单体调试、电气分系统调试和电气整套启动调试。电气设备单体调试包括绝缘试验和特性试验两部分,其目的是测试设备的制造质量和现场安装质量是否达到设计的需要,是否满足国家相关标准和规范的规定。电气分系统调试的目的是检查供电系统的各个子系统功能是否完整和可靠,是否满

足设计文件要求。系统整套启动测试的目的是检验系统的整套功能是否满足运营需要,各项功能能否正常运行。

本书共分四篇 31 章,由吴胜翔担任主编,各篇章编写分工如下:

第一篇由吴向阳编写;

第二篇第 4 章、第 5 章由陈永琪编写;

第二篇第 6 章由楚树桥编写;

第二篇第 7 章、第 8 章由艾广宁编写;

第二篇第 9 章~第 12 章由张朝军编写;

第二篇第 13 章、第 14 章由陆阳编写;

第二篇第 15 章、第 16 章由屈明编写;

第二篇第 17 章、第 18 章由孙振声编写;

第二篇第 19 章、第 20 章由苗建祥编写;

第三篇第 21 章、第 22 章由徐杰编写;

第三篇第 23 章、第 24 章由吴胜翔编写;

第三篇第 25 章、第 26 章由吕朝编写;

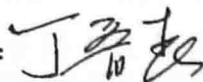
第三篇第 27 章由周启斌编写;

第四篇由李书全编写。

全书的插图由周启斌绘制。

本书有较强的针对性,读者在阅读的过程中如果有缺陷或错误之处需要修改和补充,请将意见及有关资料寄送中铁电气化局集团有限公司第一电气试验室(北京市丰台区南四环西路 188 号 7 区 10 号楼,邮编 100070),欢迎大家提出宝贵的建议和意见。在此,我们向支持本书编制工作和对编制工作作出贡献的人员表示衷心的感谢。

中铁电气化局集团第一工程有限公司

总经理: 

2013 年 4 月

第一篇 电气试验的一般要求

第 1 章 电气试验的目的及基本要求	1
1.1 电气试验的目的	1
1.2 对试验人员的要求	1
1.3 对试验用仪器仪表的要求	1
1.4 试验技术要求	2
第 2 章 电气试验组织措施	4
2.1 组织措施	4
2.2 检测相关表格	6
第 3 章 电气试验的安全措施	9
3.1 安全基本要求	9
3.2 危险点分析及安全预防措施	10

第二篇 电气设备单体试验

第 4 章 牵引变压器试验	14
4.1 绝缘油击穿电压试验	14
4.2 变压器绕组直流电阻测试	16
4.3 变比试验	19
4.4 极性和组别试验	22
4.5 测量铁芯的绝缘电阻	25
4.6 套管试验	27
4.7 有载调压和切换装置的检查 and 试验	29
4.8 测量绕组的绝缘电阻、吸收比	31
4.9 测量绕组连同套管的介质损耗角正切值 $\tan\delta$ 及电容量	34
4.10 测量绕组连同套管的直流泄漏电流	36
4.11 变压器绕组变形试验	39
4.12 绕组连同套管的交流耐压试验	42
4.13 局部放电试验	48

第 5 章 电抗器及消弧线圈试验	50
5.1 测量绕组连同套管的直流电阻	50
5.2 测量绕组连同套管的绝缘电阻、吸收比或者极化指数	52
5.3 绕组连同套管的交流耐压试验	53
第 6 章 互感器试验	57
6.1 绕组的绝缘电阻试验	57
6.2 测量 35 kV 及以上互感器一次绕组连同套管的介质损耗角正切值 $\tan\delta$ 及电容量	60
6.3 交流耐压试验	63
6.4 局部放电试验	66
6.5 测量绕组的直流电阻	68
6.6 检查接线极性和变比误差测量	71
6.7 电流互感器伏安特性试验	73
6.8 电压互感器空载励磁特性试验	75
第 7 章 断路器试验	77
7.1 断路器的绝缘电阻试验	77
7.2 每相导电回路的电阻试验	79
7.3 断路器的分、合闸时间、同期性及合闸时触头的弹跳时间试验	80
7.4 测量断路器分、合闸线圈及合闸接触器线圈的绝缘电阻和直流电阻	81
7.5 断路器交流耐压试验	83
7.6 断路器操动机构的试验	86
7.7 测量 SF ₆ 断路器内 SF ₆ 气体的含水量	88
7.8 SF ₆ 断路器密封性试验	89
第 8 章 SF₆ 封闭式组合电器试验	91
8.1 测量主回路的导电电阻	91
8.2 主回路的交流耐压试验	92
8.3 密封性实验	95
8.4 测量 SF ₆ 气体的含水量	96
8.5 检验气体密度继电器、压力表、压力动作阀	97
第 9 章 隔离开关、负荷开关试验	99
9.1 测量绝缘电阻	99
9.2 测量高压限流熔丝管熔丝的直流电阻	100
9.3 测量导电回路的电阻	101
9.4 交流耐压试验	102

9.5	检查操动机构线圈的最低动作电压	104
9.6	操动机构的试验	104
第 10 章	绝缘子试验	106
10.1	测量绝缘电阻	106
10.2	交流耐压试验	107
第 11 章	电力电缆试验	109
11.1	测量绝缘电阻	109
11.2	直流耐压试验及泄漏电流测量	111
11.3	交流耐压试验	112
11.4	测量金属屏蔽层电阻和导体电阻比及相位检查	115
第 12 章	电容器试验	117
12.1	测量绝缘电阻	117
12.2	测量电容值	118
12.3	电容器交流耐压试验	119
第 13 章	避雷器试验	121
13.1	测量金属氧化物避雷器及基座绝缘电阻	121
13.2	测量金属氧化物避雷器的工频参考电压和持续电流	122
13.3	测量金属氧化物避雷器直流参考电压和 75% 直流参考电压下 泄漏电流	123
13.4	检查放电计数器动作情况及监视电流表指示	125
第 14 章	接地装置试验	127
14.1	接地阻抗的测试	127
14.2	接地网的完整性测试	129
第 15 章	保护装置单体试验	131
15.1	装置的外观检查	131
15.2	保护装置绝缘测试	132
15.3	保护装置上电检查	133
15.4	保护装置的逆变电源检查	133
15.5	保护装置的开入、开出量检查	134
15.6	保护装置的模数变换功能检查	135
15.7	保护装置整定值的整定与测试	136
第 16 章	400 V 低压电器试验	146
16.1	低压电器连同所连接电缆及二次回路的绝缘电阻测量	146
16.2	电压线圈动作值检查	147
16.3	低压电器动作情况检查	148

16.4	脱扣器整定情况检查	149
16.5	交流耐压试验	150
16.6	互感器及指示仪表通电检查	152
16.7	低压电容柜检查	153
16.8	避雷器检查	154
第 17 章	通用继电器试验	156
17.1	电磁式电压继电器	156
17.2	电磁式电流继电器	158
17.3	电磁式时间继电器	160
第 18 章	测量仪表试验	163
18.1	试验目的	163
18.2	试验方法	163
18.3	试验标准	164
18.4	试验结果判断	164
18.5	注意事项	165
第 19 章	分段绝缘器及分相绝缘器试验	166
19.1	测量绝缘电阻	166
19.2	交流耐压试验	167
第 20 章	安全工器具试验	169
20.1	绝缘手套	169
20.2	绝缘靴	170
20.3	验电器	172
20.4	绝缘杆	173

第三篇 系统试验

第 21 章	交流电源系统试验	176
21.1	试验目的	176
21.2	试验方法	176
21.3	试验标准	177
21.4	注意事项	177
第 22 章	直流电源系统试验	178
22.1	试验目的	178
22.2	试验方法	178
22.3	试验标准	178
22.4	注意事项	179

第 23 章 牵引变压器系统调试	180
23.1 试验目的	180
23.2 试验方法	180
23.3 试验标准	185
23.4 注意事项	185
第 24 章 馈线系统调试	186
24.1 试验目的	186
24.2 试验方法	186
24.3 试验标准	189
24.4 注意事项	189
第 25 章 电容补偿系统调试	190
25.1 试验目的	190
25.2 试验方法	190
25.3 试验标准	193
25.4 注意事项	193
第 26 章 馈线故障测距系统试验	194
26.1 单体试验	194
26.2 分系统试验	195
26.3 系统试验	197
第 27 章 变电站综合监控系统试验	200
27.1 试验目的	200
27.2 试验方法	200
27.3 注意事项	208

第四篇 系统整套启动试验

第 28 章 牵引变电所受电启动试验	209
28.1 启动前的准备工作	209
28.2 电源受电测试	209
28.3 牵引变压器冲击受电	210
28.4 27.5 kV 母线受电	211
28.5 并联电容补偿装置冲击受电	211
第 29 章 接触网馈线受电分区所、AT 所启动试验	213
29.1 启动前的准备工作	213
29.2 变电所向接触网馈线送电	213
29.3 分区所、AT 所母线受电	213

29.4	自耦变压器冲击受电·····	214
第 30 章	牵引供电系统带负荷测试 ·····	215
30.1	测试前的准备工作·····	215
30.2	变电所带负荷测试·····	215
30.3	分区所、AT 所带负荷测试 ·····	215
第 31 章	接触网短路试验 ·····	217
31.1	测试前的准备工作·····	217
31.2	接触网短路试验·····	217

第一篇 电气试验的一般要求

第1章 电气试验的目的及基本要求

1.1 电气试验的目的

铁路电力牵引供电系统的安全运行,直接关系到供、用电的安全。新建牵引变电所在投运前,必须对所有电气设备按国家及相关标准进行交接性试验。

电气试验的主要目的,就是验证电气设备的各种性能是否符合国家规定的交接标准及厂家的技术条件,找出各种可能影响设备正常运行的缺陷并予以克服,为接收单位提供可靠、准确的试验数据,以便接收单位在预防性试验以及日常运行中能够进行分析和比较,从而保证设备的正常运转。

1.2 对试验人员的要求

1. 电气试验人员应具有熟练的专业电气知识和试验技术,具有一定的专业技术水平和严肃认真的工作作风。

2. 熟悉各类试验设备、仪器、仪表的原理、结构、用途及使用方法,并能排除一般故障,使试验用仪器设备经常处于完好状态。

3. 每一项试验工作开始前,试验人员应做到:熟悉施工图纸及设备资料,编制调试大纲或试验方案(包括安全措施),准备好试验用仪器设备及工具材料。

4. 试验人员安排试验工作应与施工进度相配合,减少施工现场不必要的设备拆装工作量。

5. 试验人员取得相应的资格证书后才能参加试验工作。

1.3 对试验用仪器仪表的要求

1. 试验仪器设备由试验负责人负责管理,注意维护,使仪器设备处于完好状态。

2. 仪器仪表必须经过周期检定/校准合格后才能使用,应贴有检定/校准合格标识。

3. 仪器仪表的存放,应符合干燥、防震、防尘的要求,要远离磁场、电场和腐蚀性气体。

4. 仪器的运输和搬运时,要轻拿轻放、严防强烈震动和撞击,对于长途运输的设备,应做好完善的包装措施。

5. 试验前,应根据试验内容及准确度要求,合理选择仪器仪表,试验时,严格按照仪器仪表操作规程进行操作。

1.4 试验技术要求

1. 电气装置安装工程交接试验包括:电气设备单体试验、电气分系统试验、电气整套启动试验。

2. 电气试验应遵循有关标准或规范的规定进行,电气设备单体试验主要依据标准 GB 50150《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》,继电保护系统依据标准 DL/T 995—2006《继电保护和电网安全自动装置检验规程》,其他分系统及整套启动试验应按照相关的标准或规定进行。

3. 电气设备应按照标准要求进行耐压试验,但对 110 kV 及以上电压等级的设备,当标准条款没有规定时,可不进行耐压试验。

交流耐压试验时加至试验标准电压后的持续时间,无特殊说明时,应为 1 min。

非标准电压等级的电气设备,其交流耐压试验电压值,当没有规定时,可根据标准规定的相邻电压等级按比例采用插入法计算。

进行耐压试验时,应尽量将连在一起的各种设备分离开来单独试验(制造厂装配的成套设备不在此限),但同一试验电压的设备可以连在一起试验。已有单独试验记录的若干不同试验电压的电力设备,在单独试验有困难时,也可以连在一起进行试验,此时,试验电压应采用所连接设备中的最低试验电压。

充油电力设备在注油后应有足够的静置时间才可进行耐压试验,静置时间如无制造厂规定,则应依据设备的额定电压满足以下要求:

(1) 220 kV 设备静置时间大于 48 h。

(2) 110 kV 及以下设备静置时间大于 24 h。

4. 在进行与温度及湿度有关的各种试验时,应同时测量被试物周围的温度及湿度。绝缘试验应在良好天气且被试物及仪器周围温度不宜低于 5℃,空气相对湿度不宜高于 80% 的条件下进行。对不满足上述温度、湿度条件情况下测得的试验数据,应进行综合分析,以判断电气设备是否可以投入运行。

试验时,应注意环境温度的影响,对油浸式变压器、电抗器及消弧线圈,应以被试物上层油温作为测试温度。标准中规定的常温范围为 10~40℃。

5. 测量绝缘电阻,应使用 60 s 的绝缘电阻值;吸收比的测量应使用 60 s 与 15 s 绝缘电阻值的比值;极化指数应为 10 min 与 1 min 的绝缘电阻值的比值。

6. 多绕组设备进行绝缘试验时,非被试绕组应予短路接地。

7. 测量绝缘电阻时,采用兆欧表的电压等级,在本标准未作特殊规定时,应按下列规定执行:

(1) 100 V 以下的电气设备或回路,采用 250 V, 50 M Ω 及以上兆欧表。

(2) 100~500 V 的电气设备或回路,采用 500 V, 100 M Ω 及以上兆欧表。

(3) 500~3 000 V 的电气设备或回路,采用 1 000 V, 2 000 M Ω 及以上兆欧表。

(4) 3 000~10 000 V 的电气设备或回路,采用 2 500 V, 10 000 M Ω 及以上兆欧表。

(5) 10 000 V 及以上的电气设备或回路,采用 2 500 V 或 5 000 V, 10 000 M Ω 及以上兆欧表。

8. 进行电气绝缘的测量和试验时,当只有个别项目达不到本标准的规定时,应根据全面的试验记录进行分析和综合判断,经综合判断认为可以投入运行者,可以投入运行。

第2章 电气试验组织措施

2.1 组织措施

一个完整的检测质量活动由三个部分组成:检测准备、检测实施、检测结束。从准备过程的开始到现场检测实施再到检测活动的结束,均应遵守相关国家和行业标准以及试验室质量管理体系中的规定和要求,使每一项检测活动达到预定的质量目标。

2.1.1 检测准备

1. 委托方依据工程的自身情况,填报《电气试验委托书》,技术负责人就《电气试验委托书》的内容进行审核,了解工程概况、明确工程名称、电气设备的数量、电压等级、工期安排、施工安装情况等内容,根据试验室检测能力范围,确定检测项目。

2. 《电气试验委托书》经主管领导批准后,下达《检验任务书》,确定人员安排、仪器设备准备等内容。人员安排包括确定试验负责人、检验员、安全员等人员,仪器设备则根据检测项目的要求确定。

3. 试验负责人依据委托方提供的各种图纸、设备出厂报告、设计整定书等技术资料编写《调试大纲》和《安全规程》等文件,编写《电气试验进度计划表》。

4. 试验组和委托方进行技术交底和安全交底工作,就本次试验的整个过程提出要求、试验的注意事项、试验和施工的衔接、试验发现问题的处理和整改等。试验负责人根据交底情况,组织人员学习《调试大纲》和《安全规程》,使小组成员明确本次试验的目的、方法和职责。

5. 检测前委托方的各项准备工作已经就绪,如现场通风照明情况良好、试验用电源稳定、直流屏安装调试完毕可供电气设备的直流电源、技术人员已经就电气设备、元器件、连接导体及母线上的螺母螺钉进行紧固。

2.1.2 检测实施

1. 参与试验的人员严格遵守安全作业程序,试验负责人由经验丰富的人员担任,试验需有两个或两个以上的技术熟练的人员共同进行,一人操作一人监护。

2. 电气设备的绝缘测试和耐压试验,应在干燥晴朗的良好天气情况下进行,不得在低温、高湿和阴雨等恶劣天气中进行。

3. 对电气设备及元器件进行单体试验前,必须用绝缘电阻表进行绝缘电阻测试,只有在使用非破坏性的方法确认电气设备的绝缘性能良好的情况下,方可进行

诸如介质损失角测试、直流耐压测试、交流耐压测试等的其他试验。

4. 试验时,先对到达现场的设备作必要的检查工作,检查外观应完好无损,状态标识在有效期之内,保证仪器设备状态良好,选取的设备的量程和准确度等级能满足测试的要求。

5. 试验负责人应控制好试验现场情况,尽量避免施工中的交叉影响现象存在,对试验协助人员进行业务和安全教育。

6. 试验负责人认真组织好车辆的运输以及试验转场时仪器设备搬运工作,使车辆平稳驾驶,仪器设备不受损害,使用过程中损坏的仪器应尽快采取隔离措施,报试验室设备管理员,安排发送维修。

7. 试验原始记录应按照试验室质量管理体系中的相关要求的格式填写,字迹清晰,不得漏记、补记、追记,不得涂改,出现错误时应杠改,并有改动人的签名或印章。

8. 检测人员采集到的原始数据应按照数据修约规则进行修约。

9. 试验过程中发现的问题,无法立即解决的或有共性现象存在的问题应及时向委托方技术主管发《试验通知单》,通知单应双方签字,并对整改后的情况进行跟踪验证。

10. 检验报告的出具流程是试验负责人先组织审核员对原始记录和检验报告进行审核,审核员对报告中采用的格式、内容、计算数据、技术术语、设备等方面进行审核,将审核签字后的报告交授权签字人批准。经批准后的报告由试验负责人或资料管理员负责发送,发送时应详实填写《检验报告发送登记表》。

11. 试验全部结束后应对电气设备和系统进行一次全面的检查工作。检查完成后的电气设备若具备送电条件,由委托方或施工方采取保护措施,防止再有施工或其他人员触碰设备、改动接线、改动程序的现象发生。

12. 审核委托方或施工方送电及试运行方案,参与送电过程,采集送电过程中以及试运行过程中各种图形、数据及参数,验证电气设备以及子系统的正常工作,并积累送电运行的经验和数据。

2.1.3 检测结束

1. 检测结束后,试验负责人组织小组成员认真总结本次试验的经验和不足,编制工程总结,报技术负责人和部门负责人进行审核,使试验检测技术更趋完善。

2. 清查在项目检测中使用的仪器设备,同设备管理员做好仪器入库工作。做好相关技术资料移交工作,将原始记录和检验报告一并移交资料员入档保存。

2.2 检测相关表格

2.2.1 委托方提供技术资料

委托方提供技术资料见表 1-2-1。

表 1-2-1 委托方提供技术资料

序号	相关资料	序号	相关资料
1	电气试验委托书	9	全线供电示意图
2	设计技术交底	10	各所亭一、二次图
3	施工安装进度计划	11	二次回路安装接线示意图
4	保护整定定值通知单	12	二次回路展开接线示意图
5	投标技术文件	13	电缆敷设图、编号图
6	技术交底书	14	断路器操动机构图、说明书
7	安全交底书	15	电气设备出厂检验报告、说明书
8	自动化系统信息表	16	自动化系统信息表

2.2.2 试验室相关资料

1. 检测实施

检测实施相关资料见表 1-2-2。

表 1-2-2 检测实施相关资料

序号	相关资料	序号	相关资料
1	调试大纲	6	仪器检定证书
2	原始记录	7	电气试验进度计划表
3	资质认定证书(复印件)	8	设备出库单
4	试验人员资格证书	9	试验通知单
5	检测标准和规程		

2. 检测结束

检测结束相关资料见表 1-2-3。

表 1-2-3 检测结束相关资料

序号	相关资料	序号	相关资料
1	原始记录	4	报告发送登记表
2	检验报告	5	设备入库单
3	工程总结		